

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-100830

(43)Date of publication of application : 05.04.2002

(51)Int.Cl.

H01S 5/028

H01L 21/205

(21)Application number : 2001-202726

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 03.07.2001

(72)Inventor : OCHIAI MASANAO

(30)Priority

Priority number : 2000217394

Priority date : 18.07.2000

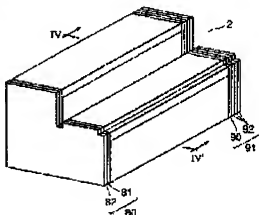
Priority country : JP

## (54) GALLIUM NITRIDE LIGHT-EMITTING ELEMENT

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a gallium nitride light-emitting element in high slope efficiency and high-reliability with its life prolonged by suppressing a braking of the end surface of the light-emitting element during the high-output operation of the light-emitting element.

**SOLUTION:** A gallium nitride light-emitting element is formed in a structure that more than one layer of low reflective films having refractive indexes lower than that of a gallium nitride are laminated on a light emitting side mirror surface, in such a way that the refractive indexes become lower in order from the light emitting side mirror surface, and the first low reflective film directly over the mirror surface is formed of one kind of a material of either selected from among a  $ZrO_2$ , an  $MgO$ , an  $Al_2O_3$ , an  $Si_3N_4$ , an  $AlN$  and an  $MgF_2$ . Moreover, a protective film consisting of one kind of a material of either selected from among a  $ZrO_2$ , an  $MgO$ , an  $Si_3N_4$ , an  $AlN$  and an  $MgF_2$  is formed on the mirror surface and a high reflective film formed by alternately laminating low-refractive index-layers and high-refractive index layers is formed on the protective film.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

31.08.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

06.05.2005

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2005-10351

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 06.06.2005

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-100830

(P2002-100830A)

(43)公開日 平成14年4月5日(2002.4.5)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テラコート<sup>®</sup>(参考)

H 0 1 S 5/028

H 0 1 S 5/028

5 F 0 4 5

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/205

5 F 0 7 3

審査請求 有 請求項の数7 O L (全 13 頁)

(21)出願番号 特願2001-202726(P2001-202726)

(71)出願人 000226057

(22)出願日 平成13年7月3日(2001.7.3)

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(31)優先権主張番号 特願2000-217394(P2000-217394)

(72)発明者 落合 真尚

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化

(32)優先日 平成12年7月18日(2000.7.18)

学工業株式会社内

(33)優先権主張国 日本 (J P)

Fターム(参考) 5F045 AA04 AB09 AB14 AB17 AB21

AB26 AB32 AB33 AB37 AB40

AC01 AC08 AC12 AC19 AD12

AD14 BB16 CA10 CA12 DA52

DA53 DA55 DA64 EB13 HA16

5F073 AA13 AA74 AA84 CA07 CB02

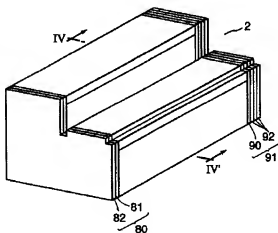
CB20 DA07 DA32 DA33 EA28

(54)【発明の名称】 窒化ガリウム系発光素子

(57)【要約】

【課題】 高出力動作時における端面破壊を抑制して寿命を向上させ、かつ、スロープ効率の高い、高信頼性の窒化ガリウム系発光素子を提供すること。

【解決手段】 光出射側端面には、窒化ガリウムより低い屈折率を有する1層以上の低反射膜が、光出射側端面から屈折率が順に低くなるように積層され、光出射側端面の直上の第1の低反射膜が、 $ZrO_2$ 、 $MgO$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Si_3N_4$ 、 $AlN$ 、及び $MgF_2$ から選ばれたいずれか1種の材料から形成されている。さらに、光反射側端面には、 $ZrO_2$ 、 $MgO$ 、 $Si_3N_4$ 、 $AlN$ 及び $MgF_2$ から選ばれたいずれか1種からなる保護膜が形成され、かつ、保護膜の上に低屈折率層と高屈折率層とを交互に積層してなる高反射膜が形成されている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ストライプ状の発光層の両端面に、光出射側鏡面と光反射側鏡面を持つ共振器構造を有する窒化ガリウム系発光素子において、

光出射側鏡面に、窒化ガリウムより低い屈折率を有する 2 層以上の低反射膜が、該光出射側鏡面から屈折率が順に低くなるように積層され、該光出射側鏡面の直上の第 1 の低反射膜が、 $ZrO_2$ 、 $MgO$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Si_3N_4$ 、 $AlN$  及び  $MgF_2$  から選ばれたいずれか 1 種からなる窒化ガリウム系発光素子。

【請求項 2】 上記第 1 の低反射膜が、 $ZrO_2$ 、 $Si_3N_4$ 、 $AlN$  から選ばれたいずれか 1 種から成り、第 1 の低反射膜の上に、 $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $MgO$  及び  $MgF_2$  から選ばれたいずれか 1 種からなる第 2 の低反射膜が形成されてなる請求項 1 に記載の窒化ガリウム系発光素子。

【請求項 3】 上記光出射側鏡面に、窒化ガリウムより低い屈折率を有する 1 層の低反射膜が形成され、該低反射膜は  $MgO$ 、 $Al_2O_3$  及び  $MgF_2$  から選ばれたいずれか 1 種からなる請求項 1 に記載の窒化ガリウム系発光素子。

【請求項 4】 上記光反射側鏡面に、 $ZrO_2$ 、 $MgO$ 、 $Si_3N_4$ 、 $AlN$  及び  $MgF_2$  から選ばれたいずれか 1 種からなる保護膜を形成し、かつ、該保護膜の上に低屈折率層と高屈折率層とを交互に積層してなる高反射膜を形成してなる請求項 1～3 のいずれか一つに記載の窒化ガリウム系発光素子。

【請求項 5】 ストライプ状の発光層の両端面に、光出射側鏡面と光反射側鏡面を持つ共振器構造を有する窒化ガリウム系発光素子において、

光反射側鏡面に、 $ZrO_2$ 、 $MgO$ 、 $Si_3N_4$ 、 $AlN$  及び  $MgF_2$  から選ばれたいずれか 1 種からなる保護膜を形成し、かつ、該保護膜の上に低屈折率層と高屈折率層とを交互に積層してなる高反射膜を形成してなる窒化ガリウム系発光素子。

【請求項 6】 ストライプ状の発光層の両端面に、光出射側鏡面と光反射側鏡面を持つ共振器構造を有する窒化ガリウム系発光素子において、

光出射側鏡面には、窒化ガリウムより低い屈折率を有する 2 層以上の低反射膜が、該光出射側鏡面から屈折率が順に低くなるように積層され、該光出射側鏡面の直上の第 1 の低反射膜が、 $ZrO_2$ 、 $MgO$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Si_3N_4$ 、 $AlN$  及び  $MgF_2$  から選ばれたいずれか 1 種から成り、

光反射側鏡面には、 $ZrO_2$ 、 $MgO$ 、 $Si_3N_4$ 、 $AlN$  及び  $MgF_2$  から選ばれたいずれか 1 種からなる保護膜が形成され、かつ、該保護膜の上に低屈折率層と高屈折率層とを交互に積層してなる高反射膜が形成されてなる窒化ガリウム系発光素子窒化ガリウム系発光素子。

【請求項 7】 上記低屈折率層と上記高屈折率層が、そ

れぞれ、 $SiO_2$  と  $ZrO_2$  からなる請求項 4 乃至請求項 6 に記載の窒化ガリウム系発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、発光ダイオードやレーザダイオードに使用される、高出力で信頼性に優れた窒化ガリウム系発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 図 5 は、従来の窒化物半導体発光素子の構造を示す模式的な斜視図である。この発光素子 100 は、サファイア基板 101 上にバッファ層 102、n 型コンタクト層 103、クラック防止層 104、n 型クラッド層 105、n 型ガイド層 106、活性層 107、p 型キャップ層 108、p 型ガイド層 109、p 型クラッド層 110、p 型コンタクト層 111 が順次積層され、ドライエッチングによりストライプ状の発光層が形成され、次いで、p 側電極 112 と n 側電極 113 とが形成されている。さらに、所定の共振器長でヘキアゲンを形成後、光反射側の鏡面に  $SiO_2$  と  $TiO_2$  との積層膜 121 を複数積層した高反射膜 120 を形成して、発振光を光出射側の鏡面から効率的に取り出せるようにしている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、高出力、例えば 30 mW 以上で動作させると、光反射側の鏡面において端面破壊が起き易くなり、寿命が低下するという問題があった。また、高出力で動作させる場合、スロープ効率が低いと、駆動電流が大きくなってしまいう問題もあった。

【0004】 そこで、本発明は、高出力動作時における端面破壊を抑制して寿命を向上させ、かつ、スロープ効率の高い、高信頼性の窒化物半導体発光素子を提供することを目的とした。

【0005】

【課題を解決するための手段】 上記課題を解決するため、本発明は、ストライプ状の発光層の両端面に、光出射側鏡面と光反射側鏡面を持つ共振器構造を有する窒化ガリウム系発光素子において、光出射側鏡面に、窒化ガリウムより低い屈折率を有する 2 層以上の低反射膜が、該光出射側鏡面から屈折率が順に低くなるように積層され、該光出射側鏡面の直上の第 1 の低反射膜が、 $ZrO_2$ 、 $MgO$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Si_3N_4$ 、 $AlN$ 、及び  $MgF_2$  から選ばれたいずれか 1 種からなることを特徴とする。

【0006】 本発明の窒化ガリウム系発光素子は、光出射側鏡面に、窒化ガリウムより低い屈折率を有する 2 層以上の低反射膜が、該光出射側鏡面から屈折率が順に低くなるように積層されているので、光出射側鏡面から発振光が直接空気中に取り出される場合に比べ、発振光の反射が抑制され、光出射側鏡面から取り出される発振光

3

の割合を増加させることができる。また、光出射側鏡面の直上の第1の低反射膜に、 $ZrO_2$ 、 $MgO$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Si_3N_4$ 、 $AlN$ 、及び $MgF_2$ から選ばれたいずれか1種からなるものを用いることにより、動作時における窒化ガリウムと低反射膜との反応による光出射側鏡面の劣化を抑制することができるので、発光素子の寿命を向上させる。

【0007】また、本発明の窒化ガリウム系発光素子は、第1の低反射膜が、 $ZrO_2$ 、 $Si_3N_4$ 、及び $AlN$ から選ばれたいずれか1種から成り、第1の低反射膜の上に、 $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $MgO$ 、及び $MgF_2$ から選ばれたいずれか1種からなる第2の低反射膜が形成されてなるものを用いることができる。

【0008】また、本発明の窒化ガリウム系発光素子は、光出射側鏡面に、窒化ガリウムより低い屈折率を有する1層の低反射膜が形成され、該低反射膜は $MgO$ 、 $Al_2O_3$ 、及び $MgF_2$ から選ばれたいずれか1種からなるものを用いることができる。

【0009】また、本発明の窒化ガリウム系発光素子は、光反射側鏡面に、 $ZrO_2$ 、 $MgO$ 、 $Si_3N_4$ 、 $AlN$ 、及び $MgF_2$ から選ばれたいずれか1種からなる保護膜を形成し、かつ、該保護膜の上に低屈折率層と高屈折率層とを交互に積層してなる高反射膜を形成してなるものを用いることができる。

【0010】また、本発明の窒化ガリウム系発光素子は、ストライプ状の発光層の両端面に、光出射側鏡面と光反射側鏡面を持つ共振器構造を有する窒化ガリウム系発光素子において、光出射側鏡面には、窒化ガリウムより低い屈折率を有する2層以上の低反射膜が、該光出射側鏡面から屈折率が順に低くなるように積層され、該光出射側鏡面の直上の第1の低反射膜が、 $ZrO_2$ 、 $MgO$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Si_3N_4$ 、 $AlN$ 及び $MgF_2$ から選ばれたいずれか1種から成り、光反射側鏡面には、 $ZrO_2$ 、 $MgO$ 、 $Si_3N_4$ 、 $AlN$ 及び $MgF_2$ から選ばれたいずれか1種からなる保護膜が形成され、かつ、該保護膜の上に低屈折率層と高屈折率層とを交互に積層してなる高反射膜が形成されてなることを特徴とする。

【0011】また、本発明の窒化ガリウム系発光素子において、上記低屈折率層と上記高屈折率層には、それぞれ、 $SiO_2$ と $ZrO_2$ からなるものを用いることができる。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、図面を用いて本発明について説明するが、本発明の窒化ガリウム系発光素子は、実施の形態に示された素子構造や電極構成に限定されるものではない。

【0013】実施の形態1。本実施の形態1は、基板に窒化物半導体基板を用いた窒化ガリウム系発光素子に関するものである。図1と図2は、本発明の実施の形態1

4

に係る窒化ガリウム系発光素子の構造を示す模式図であり、図1は斜視図、図2は、図1のII-II'線における断面構造を示す断面図である。図1に示すように、この発光素子1は、光出射側鏡面には第1の低反射膜81と第2の低反射膜82とからなる多層低反射膜80を、光反射側鏡面には保護膜90と、低屈折率層と高屈折率層との積層膜92が複数積層された高反射膜91とを有している。

【0014】さらに、図2に示すように、この発光素子1は、 $GaN$ からなる窒化物半導体基板11を有し、基板11上には、 $n$ 型 $GaN$ からなる $n$ 型コンタクト層12が形成されている。この $n$ 型コンタクト層12の上には、 $n$ 型 $InGaN$ からなるクラック防止層13が形成され、このクラック防止層13の上には、 $n$ 型 $AlGaN/GaN$ からなる $n$ 型クラッド層14と $n$ 型 $GaN$ からなる $n$ 型ガイド層15とが形成されている。 $n$ 型ガイド層15の上には、多重量子井戸構造の $InGaN/InGaN$ からなる活性層16が形成され、活性層16の上には、 $p$ 型 $AlGaN$ からなる $p$ 型キャップ層17が形成されている。 $p$ 型キャップ層17の上には、 $p$ 型 $GaN$ からなる $p$ 型ガイド層18が形成され、その上には $p$ 型 $AlGaN/GaN$ からなる $p$ 型クラッド層19、そして $p$ 型 $GaN$ からなる $p$ 型コンタクト層20が形成されている。そして、 $p$ 型コンタクト層20の上には $p$ 側電極23が、 $n$ 型コンタクト層12の上には、 $n$ 側電極22が形成されている。

【0015】本実施の形態1においては、窒化物半導体からなる基板を用いることにより、その上に成長させる窒化物半導体の転位を抑制して結晶性を向上させることができるので、発光素子の寿命をより向上させることができる。

【0016】ここで、窒化物半導体からなる基板は、例えば、特開平11-191659号公報に記載された結晶性のよい窒化物半導体の成長方法（以下、ELOG（Epitaxially laterally overgrown GaN）成長法と呼ぶ。）を用いて作製することができる。すなわち、 $C$ 面を主面とし、オリエンテーションフラット（オリフラ）面を $A$ 面とするサファイア基板上に、 $GaN$ よりなるバッファ層を成長させる。バッファ層成長後、アンドープの $GaN$ よりなる第1の窒化物半導体層を成長させる。次に、ストライプ状のフォトマスクを形成し、スパッタ装置によりパターンニングされた $SiO_2$ 膜を形成し、続いて、 $RIE$ 装置により $SiO_2$ 膜の形成されていない部分の第1の窒化物半導体をサファイア基板が露出するまでエッチングして凹凸を形成することにより、凹部側面に第1の窒化物半導体を露出させる。次に、凸部の上部の $SiO_2$ を除去する。次に、 $Si$ をドープした $GaN$ よりなる第2の窒化物半導体層を成長させる。次に、第2の窒化物半導体層を成長させたウェハを反応容器から取り出し、サファイア基板、バッファ層、第1の窒化

物半導体層、及び $\text{SiO}_2$ 膜を研磨、除去して、第2の窒化物半導体層のみからなる基板を得る。

【0017】光射出面側鏡面に形成する低反射膜には、 $\text{GaN}$ （屈折率2.3）よりも低い屈折率を有し、融点が高く熱安定性に優れた材料で、さらに、好ましくは発光素子の発振波長域に吸収を有しない材料を用いることができる。これらの条件を満たす材料として、例えば、 $\text{ZrO}_2$ （屈折率2.1）、 $\text{MgO}$ （屈折率1.7）、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ （屈折率1.54）、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ （屈折率2.0）、 $\text{AlN}$ （屈折率2.0）、そして、 $\text{MgF}_2$ （屈折率1.4）を挙げることができる。

【0018】ここで、光射出面側鏡面に形成する低反射膜は、2層以上の多層とすることが好ましい。この低反射膜は、光射出面側鏡面における光の反射を抑えることができ、反射防止膜となる。

【0019】この低反射膜は、光射出面側鏡面から屈折率が順に低くなるように低反射膜を積層することが望ましい。さらに、光射出面側鏡面の直上の第1の低反射膜は、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、及び $\text{AlN}$ のいずれか1種の材料を用いることができるが、熱安定性に優れた $\text{ZrO}_2$ が望ましい。また、第2の低反射層は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、及び $\text{MgF}_2$ のいずれか1種の材料を用いることができる。また低反射膜は1層で形成してもよく、1層とする場合には、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、及び $\text{MgF}_2$ のいずれか一つの材料を用いることが望ましい。

【0020】また、低反射膜は、蒸着、スパッタ、CVD等の気相成膜技術を用いて形成することができる。低反射膜の膜厚は、発振波長を $\lambda$ 、低反射膜の屈折率を $n$ とすると、 $\lambda/4n$ とすることが望ましい。また、低反射膜を2層以上とした場合、第1の低反射膜の膜厚は $\lambda/2n$ としてもよい。

【0021】また、光反射側鏡面に形成する保護膜には、融点が高く熱安定性に優れた材料を用いることができる。例えば、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{AlN}$ 、及び $\text{MgF}_2$ を挙げることができるが、 $\text{ZrO}_2$ を用いることが望ましい。この膜を設けることで、従来の構造で $\text{GaN}$ と $\text{SiO}_2$ との間で起こっていた端面の劣化を防止することができる。

【0022】また、保護膜は、蒸着、スパッタ、CVD等の気相成膜技術を用いて形成することができる。発振波長を $\lambda$ 、保護膜の屈折率を $n$ とすると、保護膜の膜厚は、 $\lambda/4n$ 又は $\lambda/2n$ とすることが望ましい。

【0023】また、保護膜の上には、低屈折率層と高屈折率層とを交互に積層した高反射膜を形成する。この高反射膜には、従来のレーザダイオード等に使用されている材料を用いることができ、例えば、（低屈折率層：高屈折率層）の組合せとして、（ $\text{SiO}_2$ ： $\text{ZrO}_2$ ）又は（ $\text{SiO}_2$ ： $\text{TiO}_2$ ）等を用いることが最も好ましいが、この組合せとしては相対的に屈折率の低い材料と

高い材料との組合せを選ぶだけでもよい。

【0024】また、低屈折率層と高屈折率層は保護膜を設けた場合、これらを交互に繰り返して積層した2ペアから5ペアの高反射膜とすることが好ましい。さらに好ましくは3ペア又は4ペアとし、最も好ましくは3ペアとする。このようにすることにより、高出力でさらに発光素子の寿命を向上させることができる。

【0025】光射出側、光反射側鏡面への低反射膜、高反射膜の形成方法としては、ウェハを各発光層のストライプに対して垂直となる方向でバー状に劈開、または切断した後に、バーを90度倒した状態で形成するのが好ましい。これは、膜形成に用いる、蒸着、スパッタ等の気相成膜装置の特性を考慮したもので、膜の成長方向となる膜形成面を蒸着源、スパッタのターゲットに対向するように設置して形成することで、均一な膜厚の低反射膜、高反射膜を得ることができる。また、気相成長における回り込みの効果で、バーを90度倒さなくても形成できるが、倒して形成した膜に比べて膜厚の均一性などは劣る。光射出側、光反射側となる共振器面がへち間によって形成された面であるときはバーを90度倒して、共振器面がエッチングによって形成された面であるときは90度倒さないで、回り込みを利用して膜を形成とよい。

【0026】実施の形態2、本実施の形態2は、基板に、ELOG成長法に形成された窒化物半導体層を有する異種基板を用いた窒化ガリウム系発光素子に関するものである。図3と図4は、本実施の形態2に係る窒化ガリウム系発光素子の構造を示す模式図である。図3は斜視図、図4は図3のIV-IV'線における断面構造を示す断面図である。図3に示すように、この発光素子は、光射出側鏡面には第1の低反射膜81と第2の低反射膜82とからなる多層低反射膜80を、光反射側鏡面には保護膜90と、低屈折率層と高屈折率層との積層膜92が複数積層された高反射膜91とを有している。

【0027】さらに、図4に示すように、この発光素子1は、サファイア基板31を有し、基板31上には、 $\text{GaN}$ からなるバッファ層32が形成されている。このバッファ層32の上には、下地層となるアンドープ $\text{GaN}$ 層33、34が形成されている。アンドープ $\text{GaN}$ 層34の上には、 $n$ 型 $\text{GaN}$ からなる $n$ 型コンタクト層35が形成され、その上には $n$ 型 $\text{InGaN}$ からなるクラック防止層36が形成されている。クラック防止層36の上には、 $n$ 型 $\text{GaN}$ からなる $n$ 型クラッド層37、その上にはアンドープ $\text{GaN}$ からなる $n$ 型ガイド層38、その上には多重量子井戸構造の $n$ 型 $\text{InGaN}/\text{InGaN}$ からなる活性層39が形成されている。活性層39の上には、 $p$ 型 $\text{AlGaN}$ からなる型キャップ層40が形成され、その上には、アンドープの $\text{GaN}$ からなる $p$ 型ガイド層41が形成され、その上には $p$ 型 $\text{AlGaN}/\text{GaN}$ からなる $p$ 型クラッド層42が形成され、 $p$

型クラッド層 42 の上には、p 型 GaN からなる p 型コンタクト層 43 が形成されている。p 型コンタクト層 43 上に第 1 の絶縁膜 60 の開口部を介して p 側電極 50 が、さらに第 2 の絶縁膜 61 の開口部を介してパッド電極 70 が形成されている。

【0028】ELOG 成長法に形成された窒化物半導体層を有する異種基板は、例えば、特開平 11-191659 号公報に記載された方法を用いて作製することができる。すなわち、C 面を主面とし、オリエンテーションフラット（オリフラ）面を A 面とするサファイア基板上に、GaN よりなるバッファ層を成長させる。バッファ層成長後、アンドープの GaN よりなる第 1 の窒化物半導体層を成長させる。次に、ストライプ状のフォトリソを形成し、スパッタ装置によりパターニングされた SiO<sub>2</sub> 膜を形成し、続いて、RIE 装置により SiO<sub>2</sub> 膜の形成されていない部分の第 1 の窒化物半導体をサファイア基板が露出するまでエッチングして凹凸を形成することにより、凹部側面に第 1 の窒化物半導体を露出させる。次に、凸部の上部の SiO<sub>2</sub> を除去する。次に、Si をドーピングした GaN よりなる第 2 の窒化物半導体層を成長させることにより作製することができる。

【0029】窒化物半導体を成長させる基板としては、サファイア（主面が C 面、R 面、A 面）の他、SiC、ZnO、スピネル（MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>）、GaAs、SiC（6H、4H、3C を含む）等、窒化物半導体を成長させるために従来知られている、窒化物半導体と異なる材料よりなる異種基板を用いることができる。

【0030】本実施の形態 2 では、実施の形態 1 と同様の方法により、光出射側面に低反射膜、そして、光反射側面に保護膜を形成することができるが、実施の形態 1 と同様の効果を得ることができる。

【0031】なお、実施の形態 1 と 2 においては、基板に、それぞれ、窒化物半導体基板と ELOG 成長法により形成された窒化物半導体層を有するサファイア等の異種基板を用いた例を示したが、ELOG 成長法により形成された窒化物半導体層を有しない異種基板を用いた場合においても、実施の形態 1 及び 2 と同様の効果が得られることは言うまでもない。

【0032】実施の形態 2 における光出射側、光反射側面への低反射膜、高反射膜の形成方法としては、実施の形態 1 と同様の方法でも形成することは可能であるが、異種基板がへき開しにくく、バウ状に形成するのが困難であるので、実施の形態 1 の方法の他に次のように形成することもできる。

【0033】p 型コンタクト層を成長し、低抵抗化した後、n 型コンタクト層の表面をエッチングにより露出させるが、その際に光出射側、光反射側の共振器面もエッチングにより形成する。すなわちそのエッチングにより光出射側面および光反射側面を得る。次にエッチングにより得られた光出射側面および光反射側面に回

り込みを利用して気相成長装置により低反射膜、高反射膜を形成する。

【0034】また、さらに好ましい形成方法として、n 型表面をエッチングにより露出、同時に光出射側面および光反射側面を得た後、素子をチップ化しやいように素子の周りの窒化物半導体層をサファイアが露出するまでさらにエッチングして溝を形成する。このとき少なくとも光出射側、さらには光反射側は出射するレーザ光が良好なファブリカドパターンとなるように、出射光を遮らないような位置でエッチングする。次に光出射側面および光反射側面に回り込みを利用して気相成長装置により低反射膜、高反射膜を形成する。このように形成することで、マスクを利用してエッチングを形成する際の、マスクによる低反射膜、高反射膜の膜厚の不均一性が回避できると共に、サファイアまでエッチングした位置で容易にチップ化ができるので、好ましい。

【0035】

【実施例】実施例 1 には、基板に ELOG 成長させた窒化物半導体層を有するサファイア基板を、実施例 2, 3 では、基板に窒化物半導体基板を用いた。

【0036】実施例 1、図 4 を用いて実施例 1 を説明する。（0001）C 面を主面とするサファイア基板サファイアからなる基板 31 を MOVPE 反応容器内にセットし、温度を 500℃ にして、トリメチルガリウム（TMG）、アンモニア（NH<sub>3</sub>）を用い、GaN よりなるバッファ層 32 を 200 Å の膜厚で成長させた。

【0037】次に、バッファ層成長後、TMG のみ止めて、温度を 1050℃ まで上昇させた。1050℃ になったら、原料ガスに TMG、アンモニアを用い、アンドープ GaN 層 33 を 2 μm の膜厚で成長させた。その後、ストライプ状のフォトリソを形成し、スパッタ装置によりストライプ幅（凸部の上部になる部分）5 μm、ストライプ間隔（凹部の底部となる部分）10 μm にパターニングされた SiO<sub>2</sub> 膜を形成し、続いて、RIE 装置により SiO<sub>2</sub> 膜の形成されていない部分のアンドープ GaN 層 33 を基板 31 が露出するまでエッチングして凹凸を形成することにより、凹部側面にアンドープ GaN 層 33 を露出させた後、凸部上部の SiO<sub>2</sub> を除去した。次に、反応容器内にセットし、常圧で、原料ガスに TMG、アンモニアを用い、アンドープ GaN 層 34 を 2 μm の膜厚で成長させた。アンドープ GaN 層 33 とアンドープ GaN 層 34 とからなる下地層は、素子構造を形成する各層の成長において基板として作用する。

【0038】次に、温度 1050℃ で、原料にガスに TMG、アンモニアを用い、不純物ガスにシリランガス（SiH<sub>4</sub>）を用い、Si を 3 × 10<sup>-4</sup> % / cm<sup>3</sup> ドープした GaN からなる n 型コンタクト層 35 を 4 μm の膜厚で成長させた。

【0039】次に、温度を 800℃ にして、原料ガスに

TMG、TMI（トリメチルインジウム）及びアンモニアを用い、不純物ガスにシランガスをを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープしたIn<sub>0.95</sub>Ga<sub>0.05</sub>Nよりなるクラック防止層36を膜厚0.15  $\mu\text{m}$ で成長させた。

【0040】次に、温度を1050℃にして、原料ガスにTMA（トリメチルアルミニウム）、TMG及びアンモニアを用い、アンドープのAl<sub>0.95</sub>Ga<sub>0.05</sub>Nを25Åの膜厚で成長させ、続いて、TMAを止め、不純物ガスとしてシランガスをを用い、Siを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープしたGaNを25Åの膜厚で成長させた。この操作を交互に繰り返して、総膜厚1.2  $\mu\text{m}$ の超格子構造よりなるn型クラッド層37を成長させた。

【0041】次に、温度1050℃で、原料ガスにTMG、アンモニアを用い、アンドープのGaNよりなるn型ガイド層38を0.2  $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させた。

【0042】次に、温度を800℃にし、原料ガスにTMG、TMI及びアンモニアを用い、不純物ガスにシランガスをを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープしたIn<sub>0.95</sub>Ga<sub>0.05</sub>Nよりなる障壁層（B層）を100Åの膜厚で成長させた。続いて、シランガスを止め、アンドープのIn<sub>0.95</sub>Ga<sub>0.05</sub>Nよりなる井戸層（W層）を40Åの膜厚で成長させる。障壁層と井戸層とを、B層-W層-B層-W層-B層の順に積層し、総膜厚380Åの多重量子井戸構造の活性層39を成長させた。

【0043】次に、温度800℃で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてCp<sub>2</sub>Mg（シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープしたAl<sub>0.95</sub>Ga<sub>0.05</sub>Nよりなるp型キャップ層40を300Åの膜厚で成長させた。

【0044】次に、温度を1050℃にして、原料ガスにTMG、アンモニアを用い、アンドープのGaNよりなるp型ガイド層41を0.1  $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させた。このp型ガイド層は、アンドープとして成長させたが、p型キャップ層40からのMgの拡散により、Mg濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  となりp型を示す。

【0045】次に、温度1050℃で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、アンドープのAl<sub>0.95</sub>Ga<sub>0.05</sub>Nを25Åの膜厚で成長させ、続いて、TMAを止め、不純物ガスとしてCp<sub>2</sub>Mgを用い、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープしたGaNを25Åの膜厚で成長させた。この操作を交互に繰り返して、総膜厚0.6  $\mu\text{m}$ の超格子構造よりなるp型クラッド層42を成長させた。

【0046】次に、温度1050℃で、原料ガスにTMG、アンモニアを用い、不純物ガスとしてCp<sub>2</sub>Mgを用い、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープしたGaNより

りなるp型コンタクト層43を25Åの膜厚で成長させた。

【0047】反応終了後、反応容器内において、ウエハを窒素雰囲気中、700℃でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化した。

【0048】以上のようにして窒化物半導体を成長させたウエハを反応容器から取り出し、n型コンタクト層35を露出させるためにp型コンタクト層43の一部にSiO<sub>2</sub>マスクを形成し、RIE（反応性イオンエッチング）にてエッチングを行い、n型コンタクト層35の表面を露出させた。

【0049】さらに、最上層のp型コンタクト層43の表面と、露出したn型コンタクト層35の全面に、所定の形状のマスクを介して、p型窒化物半導体層に、幅1.5  $\mu\text{m}$ のストライプ状からなるSiO<sub>2</sub>マスクを形成した。SiO<sub>2</sub>マスク形成後、RIEを用い、p型クラッド層42とp型ガイド層41との界面付近までエッチングを行い、幅1.5  $\mu\text{m}$ のストライプ状の導波路（リッジ）を形成した。

【0050】リッジ形成後、SiO<sub>2</sub>マスクを付けたまま、p型窒化物半導体層の表面にZrO<sub>2</sub>よりなる第1の絶縁膜60を形成した。この第1の絶縁膜60は、まずn側電極51形成面をマスクして第1の絶縁膜60を窒化物半導体層の全面に形成してもよい。第1の絶縁膜形成後、バッファードフッ酸に浸漬して、p型コンタクト層43上に形成したSiO<sub>2</sub>マスクを溶解除去し、リフトオフ法によりSiO<sub>2</sub>とともに、p型コンタクト層43（さらにはn型コンタクト層35上）にあるZrO<sub>2</sub>を除去した。このZrO<sub>2</sub>は、本発明の光出射側面の高反射膜及び光反射側面の保護膜として、1つの工程で形成することも可能である。

【0051】次に、p型コンタクト層43上のリッジ最表面と、第1の絶縁膜60に接してNi/Auよりなるp側電極50をストライプ状に形成した。一方、n型コンタクト層35上の表面（及び第1の絶縁膜60に接して）にTi/Auよりなるn側電極51をストライプ状に形成した。これらを形成後、それぞれを酸素：窒素が80：20の割合で、600℃でアニーリングしてp側電極50とn側電極51を合金化して、良好なオーミック特性を得た。

【0052】次に、SiO<sub>2</sub>からなる第2の絶縁膜61を全面に形成し、p側電極50とn側電極の一部を除いた全面にレジストを塗布し、ドライエッチングすることで、p側電極50とn側電極51の一部を露出させた。このSiO<sub>2</sub>は、本発明の光出射側面の高反射膜及び光反射側面の高反射膜の一部として、1つの工程で形成することも可能である。

【0053】第2の絶縁膜61形成後、パッド電極70としてp側はp型窒化物半導体層上の第2の絶縁膜61及びp側電極50を覆うように、またn側は第2の絶縁



11

膜61の一部とn側電極51を覆うように1つの工程でN1からなる密着層を1000Åの膜厚で形成した。さらに、密着層の上にTiからなるバリア層を1000Åの膜厚で、続いてAuを8000Åの膜厚で形成した。

【0054】p側電極とn側電極とを形成したウエハのサファイア基板を研磨して70μmとした後、ストライプ状の電極に垂直な方向で、基板側からバークにヘキ開し、ヘキ開面(11-00面、六角柱状の結晶の側面に相当する面=M面)に共振器を作製した。この共振器はエッチングによって形成されたものでもよい。

【0055】次に、共振器の光出射側面に、スパッタ装置を用い、ZrO<sub>2</sub>からなる第1の低反射膜とSiO<sub>2</sub>からなる第2の低反射膜を形成した。ここで、第1の低反射膜と第2の低反射膜の膜厚は、それぞれ、470Åと690Åである。一方、光反射側面には、スパッタ装置を用い、ZrO<sub>2</sub>からなる保護膜を形成し、次いで、SiO<sub>2</sub>とZrO<sub>2</sub>とを交互に3ペア積層して高反射膜を形成した。ここで、保護膜と、高反射膜を構成するSiO<sub>2</sub>膜とZrO<sub>2</sub>膜の膜厚は、それぞれ、470Åと690Åと470Åである。そして、最後にp側電極に平行な方向で、バーを切断してレーザ素子とした。

【0056】得られたレーザ素子をヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤボンディングして、室温でレーザ発振を試みた。その結果、室温においてしきい値2.2kA/cm<sup>2</sup>、しきい値電圧4.2Vで、発振波長400nmの連続発振が確認され、寿命は比較例の従来の素子と比べて1.8倍に向上した。また、しきい値は従来と比べて若干高くなったが、電流-出力特性の傾きを示すスロップ効率は従来と比べて30%の向上がみられた。これらの結果から、この発光素子は高出力レーザ素子に有用である。

【0057】実施例2. 図2を用いて、実施例2を説明する。実施例1において、下地層を形成したサファイア基板から、サファイア基板とバッファ層を研磨、除去してアンドープGaN層のみとし、これを基板11とした。但し、アンドープGaN層34を成長させる際の膜厚は80μmとした。

【0058】次に、温度1050℃で、原料ガスにTMG、アンモニアを用い、不純物ガスにシランガスを用い、Siを3×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたGaNからなるn型コンタクト層12を3μmの膜厚で成長させた。

【0059】次に、温度を800℃にして、原料ガスにTMG、TM1(トリメチルインジウム)及びアンモニアを用い、不純物ガスにシランガスを用い、Siを5×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたIn<sub>0.14</sub>Ga<sub>0.86</sub>Nよりなるクラック防止層13を膜厚0.1μmで成長させた。

【0060】次に、反応容器内を酸素雰囲気とし、温度を1050℃にして、原料ガスにTMA、TMG及びア

12

ンモニアを用い、アンドープのAl<sub>0.14</sub>Ga<sub>0.86</sub>Nを25Åの膜厚で成長させ、続いて、TMAを止め、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたGaNを25Åの膜厚で成長させた。この操作を交互に240回繰り返して、総膜厚1.2μmの超格子構造よりなるn型クラッド層14を成長させた。

【0061】次に、温度1050℃で、原料ガスにTMG、アンモニアを用い、アンドープのGaNよりなるn型ガイド層15を0.1μmの膜厚で成長させた。

【0062】次に、温度を800℃にし、原料ガスにTMG、TM1及びアンモニアを用い、不純物ガスにシランガスを用い、Siを5×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたIn<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>Nよりなる障壁層を50Åの膜厚で成長させた。続いて、SiドープのIn<sub>0.16</sub>Ga<sub>0.84</sub>Nよりなる井戸層を20Åの膜厚で成長させた。この操作を4回繰り返して、最後に障壁層を覆った総膜厚330Åの多重量子井戸構造の活性層16を成長させた。

【0063】次に、温度800℃で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてCp<sub>2</sub>Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを1×10<sup>20</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなるp型キャップ層17を200Åの膜厚で成長させた。

【0064】次に、温度を1050℃にして、原料ガスにTMG、アンモニアを用い、アンドープのGaNよりなるp型ガイド層18を0.1μmの膜厚で成長させた。このp型ガイド層は、アンドープとして成長させたが、p型キャップ層17からのMgの拡散により、Mg濃度が1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>となりp型を示す。

【0065】次に、温度1050℃で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、アンドープのAl<sub>0.14</sub>Ga<sub>0.86</sub>Nを25Åの膜厚で成長させ、続いて、TMAを止め、不純物ガスとしてCp<sub>2</sub>Mgを用い、Mgを1×10<sup>20</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたGaNを25Åの膜厚で成長させた。この操作を交互に繰り返して、総膜厚0.6μmの超格子構造よりなるp型クラッド層19を成長させた。

【0066】次に、温度1050℃で、原料ガスにTMG、アンモニアを用い、不純物ガスとしてCp<sub>2</sub>Mgを用い、Mgを1×10<sup>20</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたGaNよりなるp型コンタクト層20を0.05μmの膜厚で成長させた。

【0067】反応終了後、反応容器内において、ウエハを窒素雰囲気中、700℃でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化した。

【0068】以上のようにして窒化物半導体を成長させたウエハを反応容器から取り出し、n型コンタクト層12を露出させるためにp型コンタクト層20の一部にS

13

SiO<sub>2</sub>マスクを形成し、RIEにてエッチングを行い、n型コンタクト層12の表面を露出させた。

【0069】さらに、最上層のp型コンタクト層20の表面と、露出したn型コンタクト層12の全面に、所定の形状のマスクを介して、p型窒化物半導体層に、幅1.5μmのストライプ状ならなるSiO<sub>2</sub>マスクを形成した。SiO<sub>2</sub>マスク形成後、RIEを用い、p型クラッド層19とp型ガイド層18との界面付近までエッチングを行い、幅1.5μmのストライプ状の導波路(リッジ)を形成した。

【0070】次に、p型コンタクト層20上のリッジ最表面にNi/Auよりなるp側電極23をストライプ状に形成した。一方、n型コンタクト層35の表面にTi/A1よりなるn側電極22をストライプ状に形成した。これら形成後、それぞれを酸素：窒素が80：20の割合で、800℃でアニーリングしてp側電極23とn側電極22を合金化して、良好なオーミック特性を得た。

【0071】次に、SiO<sub>2</sub>からなる絶縁膜21を全面に形成し、p側電極23の一部とn側電極22を除いた全面にレジストを塗布し、ドライエッチングすることで、p側電極23の一部とn側電極22を露出させた。このSiO<sub>2</sub>は、本発明の光出射側鏡面の低反射膜及び光反射側鏡面の高反射膜の一部として、1つの工程で形成することも可能である。

【0072】p側電極とn側電極とを形成したウエハのサファイア基板を研磨して70μmとした後、ストライプ状の電極に垂直な方向で、基板側からバークにヘキ開し、ヘキ開面(11-00面、六角柱状の結晶の側面に相当する面=M面)に共振器を作製した。この共振器はエッチングによって形成されたものでもよい。

【0073】次に、共振器の光出射側鏡面に、スパッタ装置を用い、ZrO<sub>2</sub>からなる第1の低反射膜とSiO<sub>2</sub>からなる第2の低反射膜を形成した。ここで、第1の低反射膜と第2の低反射膜の膜厚は、それぞれ、470Åと690Åである。一方、光反射側鏡面には、スパッタ装置を用い、ZrO<sub>2</sub>からなる保護膜を形成し、次いで、SiO<sub>2</sub>とZrO<sub>2</sub>とを交互に3ペア積層して高反射膜を形成した。ここで、保護膜と、高反射膜を構成するSiO<sub>2</sub>膜とZrO<sub>2</sub>膜の膜厚は、それぞれ、470Åと690Åと470Åである。そして、最後にp側電極に平行な方向で、バーを切断してレーザ素子とした。

【0074】得られたレーザ素子をヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みた。その結果、室温においてしきい値2.2kA/cm<sup>2</sup>、しきい値電圧4.2Vで、共振波長400nmの連続発振が確認され、寿命は比較例の従来の素子と比べて2.0倍に向上した。また、しきい値は従来と比べて若干高くなったが、スロープ効率は従来と比べて30%の向上がみられた。これらの結果か

14

ら、この発光素子は高出力レーザ素子に有用である。

【0075】実施例3. 図1に示すように、基板としてC面を主面、オリフラ面をA面とするサファイア基板を用い、MOCVD装置にセットし、温度1050℃で10分間のサームクリーニングを行い水分や表面の付着物を除去した。次に温度510℃にして、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとトリメチルガリウムを用い、GaNよりなるバッファ層を200Å程度の膜厚で成長させた。その後、アンドープからなるGaIn層を1050℃で膜厚20μmで形成した。

【0076】次にハイドライド気相エピタキシャル成長(HVPE)装置にセットし、Gaメタルを石英ボートに用意し、ハロゲンガスにHClガスをを用いることによりGaCl<sub>3</sub>を生成し、次にGaN光源としてのアンモニアガスと反応させ、アンドープGaNよりなる第2のGaIn層を200μmの膜厚で成長させた。

【0077】次にSiドープからなるn型窒化物半導体層35から最上層のp型コンタクト層43を形成するまでは実施例1と同様にする。

【0078】p型コンタクト層43までを形成し、低抵抗化した後、n型コンタクト層の表面が露出され、同時に光出射側、光反射側の共振器面が形成されるようにエッチングする。

【0079】さらに最上層のp型コンタクト層43の表面と、露出したn型コンタクト層35の全面に、所定の形状のマスクを介して、p型窒化物半導体層に、幅1.5μmのストライプ状ならなるSiO<sub>2</sub>マスクを形成した。SiO<sub>2</sub>マスク形成後、RIEを用い、p型クラッド層42とp型ガイド層41との界面付近までエッチングを行い、幅1.5μmのストライプ状の導波路(リッジ)を形成した。

【0080】リッジ形成後、SiO<sub>2</sub>マスクを付けたまま、さらにSiO<sub>2</sub>マスクを光出射面にも形成する。さらにp型窒化物半導体層の表面にZrO<sub>2</sub>よりなる第1の絶縁膜80を形成した。この第1の絶縁膜80は、まずn側電極51形成面をマスクして第1の絶縁膜80を窒化物半導体層の全面に形成してもよい。第1の絶縁膜形成後、バッファードフッ酸に浸漬して、p型コンタクト層43上に形成したSiO<sub>2</sub>マスクを溶解除去し、リフトオフ法によりSiO<sub>2</sub>とともに、p型コンタクト層43(さらにはn型コンタクト層35)にあるZrO<sub>2</sub>を除去した。このZrO<sub>2</sub>は、光反射側鏡面の保護膜としても形成している。

【0081】次にp型コンタクト層43上のリッジ最表面と第1の絶縁膜80に接してNi/Auよりなるp側電極50をストライプ状に形成した。

【0082】一方n型コンタクト層35上の表面(および第1の絶縁膜80の表面)にTi/A1よりなるn側電極51をストライプ状に形成した。

【0083】これら形成後、それぞれ酸素：窒素が8

0:20の割合で、600℃でアニーリングしてp側電極50とn側電極51を合金化して、良好なオーミック特性を得た。

【0084】次にリッジ最表面および光出射端面にレジストを塗布し、第2の絶縁膜61としてSiO<sub>2</sub>とZrO<sub>2</sub>との多層膜をそれぞれの膜厚が690Åと470Åで3ベア形成する。このとき、光反射面はあらかじめ形成されたZrO<sub>2</sub>に続いて、SiO<sub>2</sub>とZrO<sub>2</sub>の多層膜が形成される。

【0085】続いて、レジストを除去し、パッド電極70としてp側はp型窒化物半導体層上の第2の絶縁膜61およびp側電極50を覆うように、またn側は第2の絶縁膜61の一部とn側電極51を覆うように1つの工程でNiから成る密着層を100Å、Tiからなるバリア層を1000Å、Auを8000Åの膜厚で形成した。

【0086】次に、素子をチップ化しやすいように、また光出射側から出射するレーザ光が良好なファーストパターンとなるように出射光を遮らないような位置でエッチングする。この方法としては、まず非エッチング部にマスクとしてはレジストを塗布する(第1のレジスト)。さらに続けて、第1のレジスト上にSiO<sub>2</sub>、さらに第2のレジストを形成する。続けてRIEにより、SiO<sub>2</sub>をエッチングしさらに続けてエッチング部のGaNをサファイアが露出するまでRIEによりエッチングする。最後に第1のレジストを除去(第1のレジストからリフトオフ)することにより、形成される。

【0087】次に光出射側のレーザ出射面を除く全面にレジストを塗布し、スパッタ装置を用い、ZrO<sub>2</sub>からなる第1の低反射膜とSiO<sub>2</sub>からなる第2の低反射膜をそれぞれ470Åと690Åの膜厚で形成し、レジストを除去した。

【0088】そして、最後にサファイア露出面に沿って、真面からスクライビング等により切断し、レーザ素子とした。得られたレーザ素子の特性は実施例1とはほぼ同等であった。

#### 【0089】実施例4

図1に示すように、基板としてC面を主面、オリフラ面をA面とするサファイア基板を用い、MOCVD装置にセットし、温度1050℃で10分間のサマルクリーニングを行い水分や表面の付着物を除去した。

【0090】次に温度510℃にして、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとトリメチルガリウムを用い、GaNよりなるバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させた。その後、アンドープからなるGaN層を1050℃で膜厚20μmで形成した。

【0091】次にハイドライド気相エピタキシャル成長(HVPE)装置にセットし、Gaメタルを石英ボートに用意し、ハロゲンガスにHClガスをを用いることによりGaCl<sub>3</sub>を生成し、次にNガス源としてのアンモニ

アガスと反応させ、さらに不純物ドーピングガスとしてジクロロシラン(SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)ガスをを用い、SiドーピングGaNよりなる第2のGaN層を200μmの膜厚で成長させた。

【0092】次に、得られたウエハを裏面のサファイアを研磨により除去し、SiドーピングGaNからなる単体基板を得た。次にSiドーピングからなるn型窒化物半導体層35から最上層のp型コンタクト層43を形成するまでは実施例1と同様にする。p型コンタクト層43までを形成し、低抵抗化した後、n型コンタクト層の表面をストライプ状に露出した。

【0093】さらに最上層のp型コンタクト層43の表面と、露出したn型コンタクト層35の全面に、所定の形状のマスクを介して、p型窒化物半導体層に、幅1.5μmのストライプからなるSiO<sub>2</sub>マスクを形成した。SiO<sub>2</sub>マスク形成後、RIEを用い、p型クラッド層42とp型ガイド層41との界面付近までエッチングを行い、幅1.5μmのストライプ状の導波路(リッジ)を形成した。

【0094】リッジ形成後、p型窒化物半導体層の表面にZrO<sub>2</sub>よりなる第1の絶縁膜60を形成した。この第1の絶縁膜60は、まずn側電極51形成面をマスクして第1の絶縁膜60を窒化物半導体層の全面に形成してもよい。第1の絶縁膜形成後、バッファードフッ酸に浸漬して、p型コンタクト層43上に形成したSiO<sub>2</sub>マスクを溶解除去し、リフトオフ法によりSiO<sub>2</sub>とともに、p型コンタクト層43(さらにはn型コンタクト層35上)にあるZrO<sub>2</sub>を除去した。このZrO<sub>2</sub>は、光反射側端面の保護膜としても形成している。

【0095】次にp型コンタクト層43上のリッジ最表面と第1の絶縁膜60に接してNi/Auよりなるp側電極50をストライプ状に形成した。

【0096】一方n型コンタクト層35上の表面(および第1の絶縁膜60の表面)にTi/Alよりなるn側電極51をストライプ状に形成した。

【0097】これらを形成後、それぞれ酸素:窒素が80:20の割合で、600℃でアニーリングしてp側電極50とn側電極51を合金化して、良好なオーミック特性を得た。次にリッジ最表面にレジストを塗布し、第2の絶縁膜61としてSiO<sub>2</sub>を形成した。

【0098】続いて、レジストを除去し、パッド電極70としてp側はp型窒化物半導体層上の第2の絶縁膜61およびp側電極50を覆うように、またn側は第2の絶縁膜61の一部とn側電極51を覆うように1つの工程でNiから成る密着層を100Å、Tiからなるバリア層を1000Å、Auを8000Åの膜厚で形成した。

【0099】次にウエハをSiドーピングGaN基板側からストライプ状の電極に平行な方向でヘキ開し、ヘキ開面ヘキ開面(11-00面、六角柱状の結晶の側面に相当

する面＝M面）に共振器を作製した。

【0100】次に、共振器の光出射側面に、スパッタ装置を用い、 $ZrO_2$  からなる第1の低反射膜と  $SiO_2$  からなる第2の低反射膜を形成した。このとき光出射側面はスパッタ装置のターゲットに対向するように設置する。ここで、第1の低反射膜と第2の低反射膜の膜厚は、それぞれ、470 Åと690 Åである。

【0101】一方、光出射側面を下にして、光出射側面をスパッタ装置のターゲットに対向するように設置し、光反射側面に  $ZrO_2$  からなる保護膜を形成し、次いで、 $SiO_2$  と  $ZrO_2$  とを交互に3ペア積層して高反射膜を形成した。ここで、保護膜と、高反射膜を構成する  $SiO_2$  膜と  $ZrO_2$  膜の膜厚は、それぞれ、470 Åと690 Åと470 Åである。そして、最後にp側電極に平行な方向で、バーを切断してレーザ素子とした。

【0102】得られたレーザ素子をヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みた。その結果、室温においてしきい値  $2.2 \text{ kA/cm}^2$ 、しきい値電圧4.2 Vで、発振波長400 nmの連続発振が確認され、寿命は比較例の従来の素子と比べて1.8倍に向上した。また、しきい値は従来の素子と比べて若干高くなったが、電流－出力特性の傾きを示すスロープ効率は従来の素子と比べて30%の向上がみられた。これらの結果から、この発光素子は高出力レーザ素子に有用である。

#### 【0103】実施例5

図1に示すように、基板としてC面を主面、オリフラ面をA面とするサファイア基板を用い、MOCVD装置にセットし、温度1050℃で10分間のサマルクリーニングを行い水分や表面の付着物を除去した。

【0104】次に温度510℃にして、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとトリメチルガリウムを用い、GaNよりなるバッファ層を200 Åの厚で成長させた。その後、アンドープからなるGaIn層を1050℃で膜厚20 μmで形成した。

【0105】次にハイドライド気相エピタキシャル成長（HVPE）装置にセットし、Ga金属を石英ボートに用意し、ハロゲンガスにHClガスを用いることによりGaCl<sub>3</sub>を生成し、次にNガス源としてのアンモニアガスと反応させ、さらに厚膜のアンドープからなるGaIn層を200 μmの膜厚で成長させた。

【0106】次に、Siドープからなるn型窒化物半導体層35から最上層のp型コンタクト層43を形成するまでは実施例1と同様にした。

【0107】p型コンタクト層43までを形成し、低抵抗化した後、n型コンタクト層の表面をエッチングによりストライプ状に露出した。このエッチングにより、共振器の端面も同時に形成した。

【0108】さらに最上層のp型コンタクト層43の表

面と、露出したn型コンタクト層35の全面に、所定の形状のマスクを介して、p型窒化物半導体層に、幅1.5 μmのストライプからなる  $SiO_2$  マスクを形成した。 $SiO_2$  マスク形成後、RIEを用い、p型クラッド層42とp型ガイド層41との界面付近までエッチングを行い、幅1.5 μmのストライプ状の導波路（リッジ）を形成した。

【0109】リッジ形成後、p型窒化物半導体層の表面に  $ZrO_2$  を470 Å、さらに  $SiO_2$  を690 Åと  $ZrO_2$  を470 Åの組み合わせを3ペアとを順に積層し、第1の絶縁膜60とした。この第1の絶縁膜60は、まず光出射側面をマスクして第1の絶縁膜60を窒化物半導体層の全面に形成しても良く、その場合第1の絶縁膜形成後、バッファードフッ酸に浸漬して、p型コンタクト層43上に形成した  $SiO_2$  マスクを溶解除去し、リフトオフ法により  $SiO_2$  とともに、p型コンタクト層43、光出射側面側面、さらにn型コンタクト層35上にある  $ZrO_2$  を除去した。

【0110】次に第1のレジストを素子のチップサイズに合わせてパターンニングし、さらにウエハー全面に  $SiO_2$  からなるマスクを形成し、さらにその上に第2のレジストを第1のレジストと同じ形状でパターンニングした。このとき第1のレジストは出射側面側が出射側面より少し外側、ギリギリまでパターンニングされている。そして、まず  $SiO_2$  をRIEによりエッチングし、 $SiO_2$  露出面の  $SiO_2$  を除去し、次に第1のレジストが塗布されていない、窒化物半導体層露出面をRIEにより基板のサファイアが露出するまでエッチングする。このエッチングにより出射側面側は出射側面より少し外側、ギリギリの窒化物半導体層がエッチングにより除去されているので、レーザ光を発振させる場合、出射光が窒化物半導体層にあたることなく、良好なファーフールドパターンを形成することができる。最後に第1のレジストから除去することで、 $SiO_2$ 、第2のレジストのマスクも一度に除去できる。

【0111】次に、光出射側面側において、少なくともリッジ部、光出射部のみが露出するようにレジストによりパターンニングし、その上にスパッタ装置を用い、 $ZrO_2$  と  $SiO_2$  をそれぞれ光出射方向に対して、470 Åと690 Åの膜厚で形成した。最後にレジスト膜を除去することで、光出射側面に  $ZrO_2$  と  $SiO_2$  が、光反射端面に  $ZrO_2$  と、 $SiO_2$  と  $ZrO_2$  の多層が3ペアとが形成された。

【0112】最後にチップサイズに合わせてパターンニングし、サファイアまで露出された部位において切断し、レーザ素子とした。得られたレーザ素子の特性は実施例1とはほぼ同等であった。

【0113】実施例6、光出射側面に低反射膜を形成しなかった以外は、実施例2と同様の方法により、レーザ素子を作製し、室温でレーザ発振を試みた。その結

果、室温においてしきい値  $2.2 \text{ kA/cm}^2$ 、しきい値電圧  $4.2 \text{ V}$  で、発振波長  $400 \text{ nm}$  の連続発振が確認され、寿命は比較例の従来の素子と比べて  $2.0$  倍に向上した。これらの結果から、この発光素子は高出力レーザ素子に有用である。

【0114】比較例、光出射側鏡面に低反射膜に形成せず、かつ、光反射側鏡面に保護膜を形成しなかった以外は、実施例 2 と同様の方法によりレーザ素子を作製し、室温でレーザ発振を試みた。その結果、室温においてしきい値  $2.0 \text{ kA/cm}^2$ 、しきい値電圧  $4.0 \text{ V}$  で、発振波長  $400 \text{ nm}$  の連続発振が確認され、室温で推定寿命が  $1000$  時間以上を示した。

【0115】

【発明の効果】以上述べたように、本発明の窒化ガリウム系発光素子は、光出射側鏡面に、窒化ガリウムより低い屈折率を有する 2 層以上の低反射膜を、光出射側鏡面から屈折率が順に低くなるように積層し、光出射側鏡面の直上の第 1 の低反射膜を、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{AlN}$ 、及び  $\text{MgF}_2$  から選ばれたいずれか 1 種の材料で形成したので、スロープ効率と寿命を向上させることができ、高出力で高信頼性の発光素子を提供できる。

【0116】また、本発明の窒化ガリウム系発光素子は、第 1 の低反射膜を、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、及び  $\text{AlN}$  から選ばれたいずれか 1 種の材料で形成し、さらに、第 1 の低反射膜の上に、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、及び  $\text{MgF}_2$  から選ばれたいずれか 1 種からなる第 2 の低反射膜を形成するようにしたので、発光素子の信頼性をより高めることができる。

【0117】また、本発明の窒化ガリウム系発光素子は、光出射側鏡面に、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、及び  $\text{MgF}_2$  から選ばれたいずれか 1 種からなる 1 層の低反射膜を形成するようにしたので、スロープ効率の高いレーザ素子が得られる。

【0118】また、本発明の窒化ガリウム系発光素子は、光反射側鏡面に、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{AlN}$ 、及び  $\text{MgF}_2$  から選ばれたいずれか 1 種からなる保護膜を形成し、かつ、保護膜の上に低屈折率層と高屈折率層とを交互に積層してなる高反射膜を形成するようにしたので、端面破壊を抑制して高出力作動時における寿命を向上させることができる。

【0119】また、本発明の窒化ガリウム系発光素子は、光出射側鏡面には、窒化ガリウムより低い屈折率を有する 2 層以上の低反射膜が、光出射側鏡面から屈折率が順に低くなるように積層され、光出射側鏡面の直上の第 1 の低反射膜が、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{AlN}$  及び  $\text{MgF}_2$  から選ばれたいずれか 1 種から成り、光反射側鏡面には、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{AlN}$  及び  $\text{MgF}_2$  から選ばれたいずれか 1 種からなる保護膜が形成され、かつ、保護膜の上に低屈折率層と高屈折率層とを交互に積層してなる高反射膜が形成されてなるようにしたので、特に、高出力作動時における、スロープ効率と寿命を向上させることができる。

【0120】また、本発明の窒化ガリウム系発光素子は、高反射層の、低屈折率層と高屈折率層を、それぞれ、 $\text{SiO}_2$  と  $\text{ZrO}_2$  で形成したので、高反射層の反射率を高めて出力をより向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の実施の形態 1 に係る窒化ガリウム系発光素子の構造を示す模式斜視図である。

【図 2】 本発明の実施の形態 1 に係る窒化ガリウム系発光素子の構造を示す模式断面図である。

【図 3】 本発明の実施の形態 2 に係る窒化ガリウム系発光素子の構造を示す斜視図である。

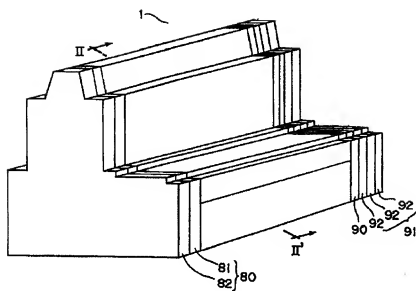
【図 4】 本発明の実施の形態 2 に係る窒化ガリウム系発光素子の構造を示す模式断面図である。

【図 5】 従来の窒化ガリウム系発光素子の構造を示す斜視図である。

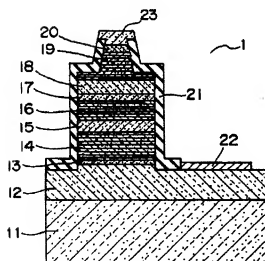
【符号の説明】

1, 2 窒化ガリウム系発光素子、11 GaN 基板、12, 35 n 型コンタクト層、13, 36 クラック防止層、14, 37 n 型クラッド層、15, 38 n 型ガイド層、16, 39 活性層、17, 40 p 型キャップ層、18, 41 p 型ガイド層、19, 42 p 型クラッド層、20, 43 p 型コンタクト層、21 絶縁膜、22, 51 n 側電極、23, 50 p 側電極、31 サブファイア基板、32 パッパ層、33, 34 アンドープ GaN 層、60 第 1 の絶縁膜、61 第 2 の絶縁膜、70 パッド電極、80 多層低反射膜、81 第 1 の反射膜、82 第 2 の反射膜、90 保護膜、91 高反射膜、92 低屈折率層と高屈折率層の積層膜。

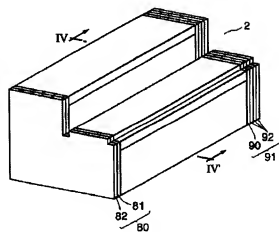
【図1】



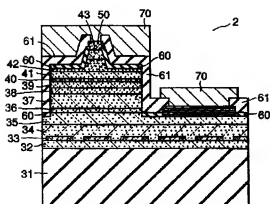
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

